



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2001249367 A**(43) Date of publication of application: **14.09.01**

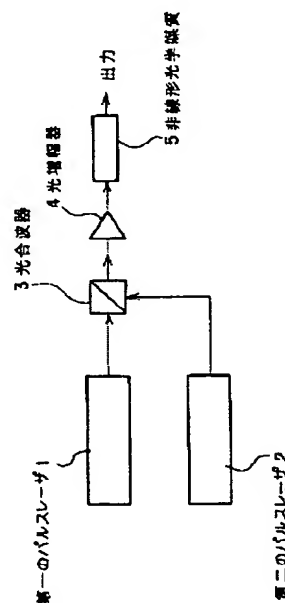
(51) Int. Cl.

G02F 1/35(21) Application number: **2000058668**(22) Date of filing: **03.03.00**(71) Applicant: **NIPPON TELEGR & TELEPH
CORP <NTT>**(72) Inventor: **AKIMOTO KOJI
KATAGIRI YOSHIMASA****(54) LIGHT GENERATION METHOD AND LIGHT
SOURCE****(57) Abstract:**

PROBLEM TO BE SOLVED: To generate multiwavelength light of a wide band and of equal frequency intervals.

SOLUTION: The repetition frequencies of the pulse light outputted from pulse lasers 1 and 2 are match with each other, and the oscillation frequency difference between the pulse lasers 1 and 2 is specified to the value obtained by dividing the repetition frequencies by an arbitrary positive number of 2 or larger. The pulse light outputted from the pulse lasers 1 and 2 is multiplexed in an optical multiplexer 3, is amplified in an optical amplifier 4 and is then inputted to a nonlinear optical medium 5. The nonlinear optical medium 5 outputs the multiwavelength light of a wide band, equal in the light frequencies different from the mode intervals of the pulse lasers 1 and 2 by its nonlinear optical effect.

COPYRIGHT: (C)2001,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2001-249367
(P2001-249367A)

(43) 公開日 平成13年9月14日 (2001.9.14)

(51) Int.Cl.⁷

G 0 2 F 1/35

識別記号

F I

G 0 2 F 1/35

タームコード (参考)

2 K 0 0 2

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2000-58668 (P2000-58668)

(22) 出願日 平成12年3月3日 (2000.3.3)

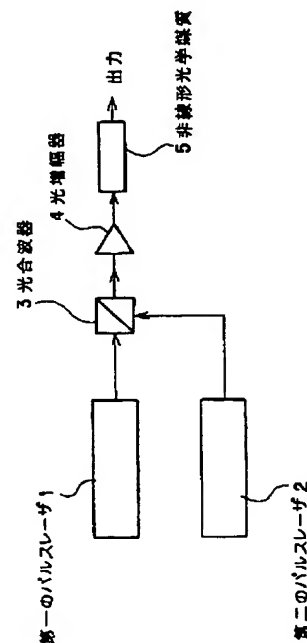
(71) 出願人 000004226
日本電信電話株式会社
東京都千代田区大手町二丁目3番1号
(72) 発明者 秋本 浩司
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
本電信電話株式会社内
(72) 発明者 片桐 祥雅
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
本電信電話株式会社内
(74) 代理人 100078499
弁理士 光石 俊郎 (外2名)
Fターム (参考) 2K002 AA02 AB12 BA02 GA10 HA14
HA31

(54) 【発明の名称】 光発生方法及び光源

(57) 【要約】

【課題】 広帯域かつ周波数間隔の等しい多波長光を発生させる。

【解決手段】 パルスレーザ1、2から出力されるパルス光の繰り返し周波数は一致しており、パルスレーザ1、2の発振周波数差は、繰り返し周波数を2以上の任意の正数で除した値としている。パルスレーザ1、2から出力されたパルス光は、光合波器3にて合成され、光増幅器4にて増幅されてから非線形光学媒質5に入力される。非線形光学媒質5は、非線形光学効果により、パルスレーザ1、2のモード間隔とは異なる、光周波数間隔が均等な広帯域の多波長光を出力する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 第一のパルス光を出力する第一のパルス光発生回路の発振周波数と、第一のパルス光の繰り返し周波数と同一の繰り返し周波数の第二のパルス光を出力する第二のパルス光発生回路の発振周波数の差である発振周波数差を、前記繰り返し周波数を2以上の任意の正数で除した値に設定しており、

第一のパルス光と第二のパルス光の合波光を非線形光学媒質に入射させて、光周波数間隔の均等多波長光を得ることを特徴とする光発生方法。

【請求項2】 請求項1の光発生方法において、第一のパルス光と第二のパルス光の尖塔が時間軸上で一致するように、第一のパルス光と第二のパルス光の少なくとも一方に時間的な遅延を与えることを特徴とする光発生方法。

【請求項3】 請求項1の光発生方法において、第一のパルス光と第二のパルス光の尖塔が時間軸上で一致するように、第一のパルス光発生回路と第二のパルス光発生回路の同期を取ることを特徴とする光発生方法。

【請求項4】 前記任意の正数を可変することを特徴とする請求項1の光発生方法。

【請求項5】 第一のパルス光を出力する第一のパルス光発生回路と、第一のパルス光の繰り返し周波数と同一の繰り返し周波数の第二のパルス光を出力する第二のパルス光発生回路とを有し、しかも、第一のパルス光発生回路の発振周波数と第二のパルス光発生回路の発振周波数の差である発振周波数差が、前記繰り返し周波数を2以上の任意の正数で除した値に設定されており、更に、第一のパルス光と第二のパルス光の合波光が入力される非線形光学媒質を有することを特徴とする光源。

【請求項6】 第一のパルス光を出力する第一のパルス光発生回路と、第一のパルス光の繰り返し周波数と同一の繰り返し周波数の第二のパルス光を出力する第二のパルス光発生回路とを有し、しかも、第一のパルス光発生回路の発振周波数と第二のパルス光発生回路の発振周波数の差である発振周波数差が、前記繰り返し周波数を2以上の任意の正数で除した値に設定されており、更に、第一のパルス光と第二のパルス光の合波光が入力される非線形光学媒質と、合波前において、第一のパルス光と第二のパルス光の少なくとも一方に時間的な遅延を与える光遅延回路とを有することを特徴とする光源。

【請求項7】 第一のパルス光を出力する第一のパルス光発生回路と、第一のパルス光の繰り返し周波数と同一の繰り返し周波数の第二のパルス光を出力する第二のパルス光発生回路とを有し、しかも、第一のパルス光発生回路の発振周波数と第二のパルス光発生回路の発振周波数の差である発振周波数差が、前記繰り返し周波数を2以上の任意の正数で除した値に設定されており、更に、第一のパルス光と第二のパルス光の合波光が入力

される非線形光学媒質と、

第一のパルス光と第二のパルス光の尖塔を一致させるように、第一のパルス光発生回路と第二のパルス光発生回路の少なくとも一方を制御する同期回路とを有することを特徴とする光源。

【請求項8】 第一のパルス光を出力する第一のパルス光発生回路と、第一のパルス光の繰り返し周波数と同一の繰り返し周波数の第二のパルス光を出力する第二のパルス光発生回路とを有し、しかも、第一のパルス光発生回路の発振周波数と第二のパルス光発生回路の発振周波数の差である発振周波数差が、前記繰り返し周波数を2以上の任意の正数で除した値に設定されており、更に、第一のパルス光と第二のパルス光の合波光が入力

される非線形光学媒質と、

第一のパルス光発生回路の発振周波数と第二のパルス光発生回路の発振周波数を可変にする発振周波数制御回路とを有することを特徴とする光源。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光波長多重通信に利用可能な光発生方法及び光源に関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、光ファイバ通信の伝送容量増大を目指し、1本の光ファイバに互いに異なる波長のレーザ光を多重化して伝送する光波長多重通信が研究されている。従来、光波長多重通信の光源としては、複数個の分布帰還形（DFB）半導体レーザを、素子温度の制御により発振波長を制御して用いてきた。しかし多重するチャネルの数が増えると、レーザの数も同じだけ増やさなければならず、コストのかかるシステムになると考えられる。

【0003】そこで近年、多くの発振モードを含むレーザ光を光源とし、そのモードを光フィルタで切り出してチャネルとする多波長光源が検討されるようになってきた。直接変調、あるいは利得スイッチ法などを用いたパルス光源は多くのモードを発生させることができるが、そのなかでもモード同期レーザは、比較的簡単にフーリエ変換限界のパルスを生成することができる、すなわち広いスペクトル帯域を持つことが可能であることから、広く研究対象となっている。

【0004】モード同期レーザとは、レーザ共振器内で生成されるモードの位相を同期させることによってパルス光を発生させるレーザであり、そのスペクトルは周波数軸上で等間隔な多くのモードを含む。このモードを光フィルタなどで切り出すことにより、単一モードの連続光光源として用いることができる。

【0005】例えば参考文献「Multiwavelength Light Source with Precise Frequency Spacing Using a Mode-Locked Semiconductor Laser and an Arrayed Waveguide Grating Filter (Hiroaki Sanjoh 他著、IEEE Photo

tics Technology Letters, Vol.9, No.6, pp.818-820, 1997)」では、モード同期半導体レーザを用いて、50 GHz 間隔の多波長光を生成させている。

【0006】図17は上記参考文献に示されている一例であり、モード同期半導体レーザ01の電界吸収変調器01aに25 GHzの正弦波信号を入力すると共に直流電流を得る領域01bに入力すると、高調波モード同期により、50 GHz 間隔の多波長光を生成させ、この多波長光を、アレイ導波路回折格子フィルタ（光フィルタ）02で切り出して、光出力差17 dB以内に11チャンネルの連続光を得ている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】前記の多波長光から得られるチャンネル数は、元のモード同期半導体レーザ01の増幅利得帯域に制限され、各チャンネルの光出力レベルはレーザの増幅利得の中心とそれ以外で大きく異なっていた。また、前記多波長光から得られるチャンネルの周波数間隔はモード同期半導体レーザ01のモード間隔によるため、周波数間隔は固定されてしまい、光ネットワークシステムの柔軟な構成を困難にしていた。

【0008】本発明は、上記従来技術に鑑み、パルス光の繰り返し周波数は等しいが発振周波数が異なる2つのパルス光発生回路を用い、非線形光学効果を利用して広帯域かつ周波数間隔の等しい多波長光を発生する光発生方法及び光源を提供することを目的とする。

【0009】更に、2つのパルス光発生回路の発振周波数を変えることにより、周波数間隔の可変な多波長光を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決する本発明の構成は、第一のパルス光を出力する第一のパルス光発生回路の発振周波数と、第一のパルス光の繰り返し周波数と同一の繰り返し周波数の第二のパルス光を出力する第二のパルス光発生回路の発振周波数の差である発振周波数差を、前記繰り返し周波数を2以上の任意の正数で除した値に設定しており、第一のパルス光と第二のパルス光の合波光を非線形光学媒質に入射させて、光周波数間隔の均等な多波長光を得ることを特徴とする。

【0011】また本発明の構成は、第一のパルス光と第二のパルス光の尖塔が時間軸上で一致するように、第一のパルス光と第二のパルス光の少なくとも一方に時間的な遅延を与えたり、第一のパルス光と第二のパルス光の尖塔が時間軸上で一致するように、第一のパルス光発生回路と第二のパルス光発生回路の同期を取ったり、前記任意の正数を可変することを特徴とする。

【0012】また本発明の構成は、第一のパルス光を出力する第一のパルス光発生回路と、第一のパルス光の繰り返し周波数と同一の繰り返し周波数の第二のパルス光を出力する第二のパルス光発生回路とを有し、しかも、第一のパルス光発生回路の発振周波数と第二のパルス光

発生回路の発振周波数の差である発振周波数差が、前記繰り返し周波数を2以上の任意の正数で除した値に設定されており、更に、第一のパルス光と第二のパルス光の合波光が入力される非線形光学媒質を有することを特徴とする。

【0013】また本発明の構成は、第一のパルス光を出力する第一のパルス光発生回路と、第一のパルス光の繰り返し周波数と同一の繰り返し周波数の第二のパルス光を出力する第二のパルス光発生回路とを有し、しかも、第一のパルス光発生回路の発振周波数と第二のパルス光発生回路の発振周波数の差である発振周波数差が、前記繰り返し周波数を2以上の任意の正数で除した値に設定されており、更に、第一のパルス光と第二のパルス光の合波光が入力される非線形光学媒質と、合波前において、第一のパルス光と第二のパルス光の少なくとも一方に時間的な遅延を与える光遅延回路とを有することを特徴とする。

【0014】また本発明の構成は、第一のパルス光を出力する第一のパルス光発生回路と、第一のパルス光の繰り返し周波数と同一の繰り返し周波数の第二のパルス光を出力する第二のパルス光発生回路とを有し、しかも、第一のパルス光発生回路の発振周波数と第二のパルス光発生回路の発振周波数の差である発振周波数差が、前記繰り返し周波数を2以上の任意の正数で除した値に設定されており、更に、第一のパルス光と第二のパルス光の合波光が入力される非線形光学媒質と、第一のパルス光と第二のパルス光の尖塔を一致させるように、第一のパルス光発生回路と第二のパルス光発生回路の少なくとも一方を制御する同期回路とを有することを特徴とする。

【0015】また本発明の構成は、第一のパルス光を出力する第一のパルス光発生回路と、第一のパルス光の繰り返し周波数と同一の繰り返し周波数の第二のパルス光を出力する第二のパルス光発生回路とを有し、しかも、第一のパルス光発生回路の発振周波数と第二のパルス光発生回路の発振周波数の差である発振周波数差が、前記繰り返し周波数を2以上の任意の正数で除した値に設定されており、更に、第一のパルス光と第二のパルス光の合波光が入力される非線形光学媒質と、第一のパルス光発生回路の発振周波数と第二のパルス光発生回路の発振周波数を可変にする発振周波数制御回路とを有することを特徴とする。

【0016】〔作用〕本発明では、等しい繰り返し周波数でパルス光を発生する2つのパルス光発生回路（パルスレーザ）と、非線形光学効果をもつ非線形光学媒質を用いることにより、元のパルスレーザのモード間隔とは異なる、等間隔な多波長光を、レーザの増幅利得に依らずにより多く得られる。

【0017】また、2つのパルスレーザから発生されるパルス光のどちらか、あるいは双方に時間的な遅延を与えるようにしたため、パルス光の尖塔が時間軸上で一致

し、非線形媒質に入射するパルス光のピークパワーが大きくなることから、より大きな非線形光学効果が期待でき、その結果、出力光のスペクトル包絡線が広がり、各チャネルの光出力レベルの差が少ない多波長光が得られる。

【0018】また、2つのパルスレーザの同期を取るようにしたため、パルス光の尖塔が時間軸上で一致するため、非線形媒質に入射するパルス光のピークパワーが大きくなることから、より大きな非線形光学効果が期待でき、その結果、出力光のスペクトル包絡線が広がり、各チャネルの光出力レベルの差がより少ない多波長光が得られる。

【0019】また、2つのパルスレーザの発振周波数を制御するようにしたため、発生されるモード間隔を可変にすることができる。

【0020】

【発明の実施の形態】以下に、本発明の各種の実施の形態を、図面を用いて詳細に説明する。

【0021】＜第1の実施の形態＞図1は本発明の第1の実施の形態にかかる光源を示す。同図に示す第一のパルスレーザ1は一定の繰り返し周波数の第一のパルス光を出力し、第二のパルスレーザ2も、第一のパルスレーザ1と同一の繰り返し周波数の第二のパルス光を出力する。このとき、パルスレーザ1の発振周波数とパルスレーザ2の発振周波数の差（発振周波数差）を、パルス光の繰り返し周波数を2以上の任意の正数で除（除算）した値に設定している。

【0022】なお「パルスレーザの発振周波数」とは、レーザが自励発振するときの光周波数のことをいう。この発振周波数は、パルス光にとっては、搬送波（キャリア）の周波数と考えることができる。

【0023】また、2つのレーザの発振周波数差を、パルス光の繰り返し周波数を2以上の任意の正数で除（除算）した値に設定することは、後述する他の実施の形態においても同様である。

【0024】パルスレーザ1、2から出力されたパルス光（レーザ光）は、光合波器3にて合波され、合波されたパルス光を光増幅器4により増幅している。このように合波して増幅したパルス光は、非線形光学媒質5に入力される。

【0025】非線形光学媒質5は、その非線形光学効果により、パルスレーザ1、2のモード間隔とは異なる、光周波数間隔が均等な多波長光を出力する。

【0026】更に個々の部材を詳述すると、図1におけるパルスレーザ1、2とは、利得を励起する際に直接変調を施すことによりパルス光を発生することができるレーザ、あるいは連続光を外部変換器でパルス化するレーザ、あるいはモード同期レーザ、利得スイッチレーザ、Qスイッチレーザなどである。

【0027】パルスレーザ1、2の光スペクトルは、中

心の輝線スペクトルの周りに、周波数間隔 $\delta f = 1/T$ [ヘルツ]（ T [秒] はパルス光の繰り返し周期）のモード、及び高調波成分である、 δf の正数倍 $n \times \delta f$ [ヘルツ] 間隔のモードを持つ（ n は正数）。ここで中心の輝線スペクトルにおける周波数が、パルスレーザの発振周波数である。

【0028】図1における非線形光学媒質5とは、その屈折率が、2次以上の高次の電気感受率に強く支配される媒質であり、光ファイバや光半導体増幅器、有機色素などである。一般に強い強度の光波が非線形光学媒質に入射されると、自己位相変調、相互位相変調、あるいは四光波混合などのさまざまな非線形光学効果が発生する。

【0029】なお、非線形光学媒質5としては、3次の非線形効果が発生するものを使用してもよい。

【0030】周波数間隔 δf [ヘルツ] のモードを持ち、かつ発振周波数が δf [ヘルツ] 異なる2つのパルスレーザから出力されたパルス光を光カプラなどの光合波器3を用いて重ね合わせると、そのスペクトルは、元のパルスレーザとは異なる周波数間隔になる。この様子を図2に示す。パルスレーザ1のスペクトルは実線、パルスレーザ2のスペクトルは破線で示されている。ここで $\delta \nu$ [ヘルツ] を発振周波数差という。

【0031】上記のような2つのパルスレーザ1、2の重ね合わせ光をエルビウム添加光ファイバ増幅器などの光増幅器4で増幅し、非線形光学媒質5に入射させると、自己位相変調、あるいは相互位相変調といった非線形光学効果によりスペクトルの包絡線が広がり、かつ、四光波混合といった非線形光学効果により多数の周波数の異なる光が発生する。

【0032】図2の例において、ポンプ光の光周波数を ν_1 [ヘルツ]、プローブ光の光周波数を ν_2 [ヘルツ]（ただし $\nu_2 > \nu_1$ ）とすると、四光波混合により $\nu_1 - (\nu_2 - \nu_1)$ [ヘルツ] 及び $\nu_2 + (\nu_2 - \nu_1)$ [ヘルツ] のシグナル光が発生される。更に新しく発生された $\nu_1 - (\nu_2 - \nu_1)$ [ヘルツ] 及び $\nu_2 + (\nu_2 - \nu_1)$ [ヘルツ] の光はポンプ光やプローブ光となり、更に多くのモードを発生させる。

【0033】ここで2つのパルスレーザ1、2の発振周波数差 $\delta \nu$ [ヘルツ] が、モード間隔 δf [ヘルツ] の2以上の正数で割った値に等しくなるように、2つのパルスレーザの発振周波数を制御すると、元のパルスレーザのモード、及び四光波混合により発生するシグナル光はすべて $\delta \nu$ [ヘルツ] 間隔となり、多くの等間隔なモードを含む多波長光を発生することができる。

【0034】例えば図2の例で、2つのパルスレーザ1、2の発振周波数差 $\delta \nu$ を、モード間隔 δf の $1/4$ にすると、

$$\nu_2 = \nu_1 + \delta f / 4$$

となる。 ν_1 及び ν_2 の周波数の光をポンプ光及びプロ

ープ光とすると、新たに発生されるシグナル光の周波数は、

$$\nu_1 - \delta f / 4 \quad \text{及び} \quad \nu_1 + \delta f / 2$$

となる。また、 $\nu_1 - \delta f$ 及び $\nu_2 - \delta f$ をポンプ光及びプローブ光とすると、新たに発生されるシグナル光の周波数は、

$$\nu_1 - 5\delta f / 4 \quad \text{及び} \quad \nu_1 - \delta f / 2$$

となる。

【0035】以下、2つのパルスレーザ1、2のモードすべてについて同様に考えると、ポンプ光、プローブ光及びシグナル光は周波数軸上ですべて $\delta f / 4$ 間隔、すなわち $\delta \nu$ 間隔で並び、等間隔のモードを含む多波長光が発生される。

【0036】また、自己位相変調あるいは相互位相変調により、非線形光学媒質5へ入射されたスペクトルの包絡線は広がって出力されるため、得られる多波長光のチャンネル数は入力のものよりも多くなり、各チャンネルの出力差も少なくなる。

【0037】＜第2の実施の形態＞図3は本発明の第2の実施の形態にかかる光源を示し、図4はその動作原理を説明する図である。

【0038】第2の実施の形態では、図3に示すように、第二のパルスレーザ2から出力された合波前の第二のパルス光を、時間的に遅延させる光遅延回路6が配置されている。このため、第一のパルスレーザ1から出力された第一のパルス光と、第二のパルスレーザ2から出力されてから光遅延回路6にて時間的に遅延された第二のパルス光とが、光合波器3にて合波されるようになっている。なお、他の部分の構成は、図1に示す第1の実施の形態と同様である。

【0039】光遅延回路6における時間的な遅延は、パルスレーザ2から発生されたパルス光の伝搬する媒質の屈折率を温度、あるいは電気光学効果などで変化させ、あるいは媒質の長さを物理的に変化させることにより得られる。

【0040】一般に、2つの独立したパルスレーザ1、2から発振されるパルス光は、時間的に相関がないため、それぞれは同期がとれていない。そこで一方のパルスレーザ2から出たパルス光に時間的な遅延を与え、しかも光遅延回路6により遅延量を調節することにより、図4に示すように、双方のパルス光の尖塔を時間的に一致させることができる。

【0041】その結果、非線形光学媒質5に入射するパルス光のピークパワーが大きくなることから、より大きな非線形光学効果が期待でき、結果として、出力光のスペクトル包絡線が広がり、各チャンネルの光出力レベルの差が少ない多波長光が得られる。

【0042】なお光遅延回路6の伝搬媒質の屈折率を変化させるには、伝搬する媒質が大気中であるなら、その光路中にガラスなどの誘電体を挿入することにより、伝

搬路全体での屈折率が増加する。媒質の長さを物理的に変化させるには、例えば伝搬する媒質が光ファイバであるならば、光ファイバを圧電素子などで引っ張ることにより変化する。また光遅延回路6の各種の具体的な実施の形態は、後の第7（図9）～第10（図12）の実施の形態において詳述する。

【0043】＜第3の実施の形態＞図5は本発明の第3の実施の形態にかかる光源を示す。図5に示すように、本実施の形態では、第二のパルスレーザ2から出力されるパルス光を、第一のパルスレーザ1から出力されるパルス光に同期させる機能を持つ同期回路7を備えている。なお、他の部分の構成は、図1に示す第1の実施の形態と同様である。

【0044】同期回路7とは、検波器を用いて光信号を電気信号に変換し、電気回路によってパルス光どうしの同期を取り、パルスレーザ1、2のうち、一方のパルスレーザ、あるいは双方のパルスレーザに帰還する手段、あるいは光信号のまま信号処理し、一方のパルスレーザ、あるいは双方のパルスレーザに負帰還する手段である。

【0045】図5に示す実施の形態では、第二のパルスレーザ2に帰還してパルスレーザ2から出力されるパルス光のタイミングを制御して、両パルスレーザ1、2から出力されるパルス光の同期をとるようにしている。

【0046】2つの独立したパルスレーザ1、2から発振されるパルス光の一部を双方とも分岐し、パルス光のタイミングを同期回路7で同期させることにより、パルス光の尖塔が時間軸上で一致させることができる。その結果、非線形光学媒質5に入射するパルス光のピークパワーが大きくなることから、より大きな非線形光学効果が期待でき、結果として、出力光のスペクトル包絡線が広がり、各チャンネルの光出力レベルの差が少ない多波長光が得られる。

【0047】＜第4の実施の形態＞図6は本発明の第4の実施の形態にかかる光源を示す。図6に示すように、本実施の形態では、第一のパルスレーザ1に、パルスレーザ1から出力されたパルス光の発振周波数を検出する検波器8aと、検波器8aにて検波した信号を基に第一のパルスレーザ1の発振周波数を制御する発振周波数制御回路9aを備えている。また、第二のパルスレーザ2に、パルスレーザ2から出力されたパルス光の発振周波数を検出する検波器8bと、検波器8bにて検波した信号を基に第二のパルスレーザ2の発振周波数を制御する発振周波数制御回路9bを備えている。なお、他の部分の構成は、図1に示す第1の実施の形態と同様である。

【0048】このようにして第一、第二のパルスレーザ1、2の発振周波数を制御することにより、周波数間隔の可変な多波長光を出力することができる。つまり、「パルスレーザ1、2の発振周波数差を、パルス繰返し周波数の2以上の整数で除（除算）した正数の値に設

定する」という条件にあって、「正数」の値を変化させることができる。

【0049】なお、パルスレーザ 1, 2 の発振周波数を制御する方法とは、レーザ内にある利得媒質の屈折率を変化させる、あるいはレーザ共振器の共振器長を変化させて発振周波数を制御する方法がある。

【0050】一般にパルスレーザの利得媒質の屈折率は、利得媒質の温度を変化させる、あるいは半導体レーザの場合は励起のための注入電流の量を変化させることなどにより、変化する。レーザ共振器の共振器長は、固体レーザや気体レーザなどでは共振器を構成する鏡を機械的に動かすことにより変化する。また、共振器内の屈折率を変化させることにより、実効的な共振器長を変化させることができる。

【0051】上記のような手法により、2つのパルスレーザ 1, 2 の発振周波数差 $\delta\nu$ [ヘルツ] を、モード間隔 δf [ヘルツ] の 2 以上の正数で割った値に等しくなるように変化させれば、等間隔に発振し、かつ周波数間隔の可変なモードを含む多波長光を発生することができる。

【0052】＜第 5 の実施の形態＞図 7 は本発明の第 5 の実施の形態にかかる光源を示す。図 7 に示すように、本実施の形態では、第一、第二のパルスレーザとして、モード同期レーザ 11, 12 を採用している。なお、他の部分の構成は、図 1 に示す第 1 の実施の形態と同様である。

【0053】モード同期レーザ 11, 12 とは、レーザ共振器内で発生する幾つかのモードの位相を同期させることにより、急峻なパルス光を発生させることができるレーザである。モードの位相を同期させるには、レーザ媒質に変調を与える強制モード同期法、光の強度により透過率が変化する可飽和吸収体をレーザ共振器に組み込んだ受動モード同期法、あるいは両方の効果を用いるハイブリッドモード同期法などがある。

【0054】モード同期レーザ 11, 12 は、比較的容易にフーリエ変換限界なパルス光を発生することができるため、よりスペクトル幅の広い光源となることから、より多チャネルの多波長光を発生することができる。

【0055】＜第 6 の実施の形態＞図 8 は本発明の第 6 の実施の形態にかかる光源を示す。図 8 に示すように、本実施の形態では、第一、第二のパルスレーザとして、利得スイッチレーザ 13, 14 を採用している。なお、他の部分の構成は、図 1 に示す第 1 の実施の形態と同様である。

【0056】利得スイッチレーザ 13, 14 とは、レーザ媒質をデルタ関数的に急峻に励起すると、急峻なパルス光を発生させることができるレーザである。

【0057】利得スイッチレーザ 13, 14 は、比較的容易にフーリエ変換限界なパルス光を発生することができるため、よりスペクトル幅の広い光源となることから、より多チャネルの多波長光を発生することができる。

ら、より多チャネルの多波長光を発生することができる。

【0058】＜第 7 の実施の形態＞図 9 は、空間コリメートビームによる光ファイバ間結合を利用した光遅延回路 20 を示す。この光遅延回路 20 は、図 3 に示す光遅延回路 6 として採用することができる。

【0059】空間コリメートビームによる光ファイバ間結合を利用した光遅延回路 20 とは、入射用及び出射用の 2 本の光ファイバ 21, 22 と、入射用光ファイバ 21 からの出射光を平行光にするコリメートレンズ 23 と、平行光を出射用光ファイバ 22 に集光させるコリメートレンズ 24 からなり、入射用あるいは出射用のコリメート系のどちらか一方、あるいは両方を平行光の進行方向に可動な駆動系を持ち、該駆動系を動かすことにより光路長を変化させる遅延装置である。図 9 の例では、コリメートレンズ 23 を固定し、コリメートレンズ 24 を可動にしている。

【0060】この光遅延回路 20 を、図 3 に示す光遅延回路 6 として採用して、遅延量を調節することにより、パルスレーザ 1, 2 から出力される双方のパルス光の尖塔を時間的に一致させることができる。その結果、非線形光学媒質 5 に入射するパルス光のピークパワーが大きくなることから、より大きな非線形光学効果が期待でき、結果として、出力光のスペクトル包絡線が広がり、各チャネルの光出力レベルの差が少ない多波長光が得られる。また、光遅延回路 20 を用いることにより、簡単な装置で大きな遅延量を得ることができ、繰返し周期の長いパルスレーザへの適用も可能である。

【0061】＜第 8 の実施の形態＞図 10 は、光導波路の屈折率制御による光遅延回路 30 を示す。この光遅延回路 30 は、図 3 に示す光遅延回路 6 として採用することができる。

【0062】光導波路の屈折率制御による光遅延回路 30 とは、入射ポート 31、出射ポート 32 及び屈折率制御部 33 を持つ光導波路 34 からなる装置であり、屈折率制御部 33 に屈折率制御信号を与えることにより屈折率が変化し、遅延が生じる。

【0063】この光遅延回路 20 を、図 3 に示す光遅延回路 6 として採用して、遅延量を調節することにより、パルスレーザ 1, 2 から出力される双方のパルス光の尖塔を時間的に一致させることができる。その結果、非線形光学媒質 5 に入射するパルス光のピークパワーが大きくなることから、より大きな非線形光学効果が期待でき、結果として、出力光のスペクトル包絡線が広がり、各チャネルの光出力レベルの差が少ない多波長光が得られる。また、光遅延回路 30 を用いることにより、遅延量を精密に制御することができる。

【0064】＜第 9 の実施の形態＞図 11 は、熱光学効果を用いた屈折率制御による光遅延回路 40 を示す。この光遅延回路 40 は、図 3 に示す光遅延回路 6 として採

用することができる。

【0065】熱光学効果を用いた屈折率制御による光遅延回路40とは、入射ポート41及び出射ポート42を持つ光導波路43と、光導波路43の温度を変えるヒータ44からなる装置であり、ヒータ44に制御電流を与えることにより光導波路43の温度が変化しその結果、屈折率が変化し、遅延が生じる。

【0066】この光遅延回路40を、図3に示す光遅延回路6として採用して、遅延量を調節することにより、パルスレーザ1、2から出力される双方のパルス光の尖塔を時間的に一致させることができる。その結果、非線形光学媒質5に入射するパルス光のピークパワーが大きくなることから、より大きな非線形光学効果が期待でき、結果として、出力光のスペクトル包絡線が広がり、各チャネルの光出力レベルの差が少ない多波長光が得られる。また、光遅延回路40を用いることにより、遅延量を精密に制御することができる。

【0067】＜第10の実施の形態＞図12は、電気光学効果を用いた屈折率制御による光遅延回路50を示す。この光遅延回路50は、図3に示す光遅延回路6として採用することができる。

【0068】電気光学効果を用いた屈折率制御による光遅延回路50とは、入射ポート51及び出射ポート52を持つ光導波路53と、光導波路53に制御電流を流すための1組の電極54からなる装置であり、光導波路53に電流を流すことによりキャリア密度が変化して、その結果屈折率が変化し、遅延が生じる。

【0069】この光遅延回路50を、図3に示す光遅延回路6として採用して、遅延量を調節することにより、パルスレーザ1、2から出力される双方のパルス光の尖塔を時間的に一致させることができる。その結果、非線形光学媒質5に入射するパルス光のピークパワーが大きくなることから、より大きな非線形光学効果が期待でき、結果として、出力光のスペクトル包絡線が広がり、各チャネルの光出力レベルの差が少ない多波長光が得られる。また、光遅延回路50を用いることにより、遅延量を精密に制御することができる。

【0070】＜第11の実施の形態＞図13は、本発明の第11の実施の形態にかかる光源を示す。本実施の形態では、光位相同期ループを構成することにより、第一のパルスレーザ101から出力されるパルス光に、第二のパルスレーザ102から出力されるパルス光を同期させるようにしている。

【0071】光位相同期ループを除く構成を先に説明すると、第一のパルスレーザ101は、発振器103から出力された発振信号と同期したパルス光を出力する。第二のパルスレーザ102は、発振器104から出力された発振信号と同期したパルス光を出力する。なお双方のパルス光は、後述する光位相同期ループの作用により同期される。

【0072】パルスレーザ101から出力され、光分波器105にて分岐されたパルス光と、パルスレーザ102から出力され、光分波器106にて分岐されたパルス光は、光合波器107にて合波される。合波されたパルス光は光増幅器108により増幅され、増幅されたパルス光は、非線形光学媒質109に入力される。

【0073】非線形光学媒質109は、その非線形効果により、パルスレーザ101、102のモード間隔とは異なる、光周波数間隔が均等な多波長光を出力する。

【0074】光位相同期ループについて説明すると、発振器103は出力する発振信号の位相を固定しており、発振器104は出力する発振信号の位相を可変にできる。パルスレーザ101から出力され、光分波器105を透過して分波されたパルス光は、第一の受光素子110に入力される。第一の受光素子110は、入力されたパルス光からキャリアを除いたパルス信号を出力する。また、パルスレーザ102から出力され、光分波器106を透過して分波されたパルス光は、第二の受光素子111に入力される。第二の受光素子111は、入力されたパルス光からキャリアを除いたパルス信号を出力する。

【0075】位相比較器112は、第一の受光素子110から出力されたパルス信号の位相と、第二の受光素子111から出力されたパルス信号との位相を比較し、両者の位相差を示す位相差信号を出力する。

【0076】この位相差信号はループフィルタ113を通過してから発振器104に入力される。発振器104は、位相差信号に応じて、パルスレーザ102に送る発振信号の位相を変更し、発振器103の位相に追従しようとする。このため、発振器104から出力される発振信号の位相が、発振器103から出力される発振信号の位相に同期し、パルスレーザ102から出力されるパルス光の位相が、パルスレーザ101から出力されるパルス光の位相に同期する。

【0077】この構成では、位相固定の発振器103により駆動しているパルスレーザ101のパルス光に、位相可変な発振器104により駆動しているパルスレーザ102のパルス光を同期させることができ、2つのパルスレーザ101、102から発生されるパルス光の尖塔が時間軸上で一致する。その結果、非線形光学媒質109に入射するパルス光のピークパワーが大きくなることから、より大きな非線形光学効果が期待でき、結果として、出力光のスペクトル包絡線が広がり、各チャネルの光出力レベルの差が少ない多波長光が得られる。

【0078】＜第12の実施の形態＞図14は、本発明の第12の実施の形態にかかる光源を示す。本実施の形態では、光位相同期ループを構成することにより、第一のパルスレーザ101から出力されるパルス光と、第二のパルスレーザ102から出力されるパルス光を同期させるようにしている。この第12の実施の形態は、図1

3に示す第11の実施の形態における光位相同期ループの構成を変更したものである。このため、第11の実施の形態と同一機能を果たす部分には同一符号を付し重複する説明は省略し、異なる部分について説明をする。

【0079】第一の Pulsレーザ 101 は、位相可変の第一の発振器 201 に同期したパルス光を出力し、第二の Pulsレーザ 102 は、位相可変の第二の発振器 104 に同期したパルス光を出力する。

【0080】光位相同期ループについて説明すると、Pulsレーザ 101 から出力され、光分波器 105 を透過して分波されたパルス光は、第一の受光素子 110 に入力される。第一の受光素子 110 は、入力されたパルス光からキャリアを除いたパルス信号を出力する。また、Pulsレーザ 102 から出力され、光分波器 106 を透過して分波されたパルス光は、第二の受光素子 111 に入力される。第二の受光素子 111 は、入力されたパルス光からキャリアを除いたパルス信号を出力する。

【0081】第一の位相比較器 202 は、第一の受光素子 110 から出力されたパルス信号と、参照となる発振器 203 から出力された参照信号との位相を比較し、両者の位相差を示す第一の位相差信号を出力する。

【0082】第一の位相差信号は第一のループフィルタ 204 を通過してから発振器 201 に入力される。発振器 201 は、位相差信号に応じて、Pulsレーザ 101 に送る発振信号の位相を変更する。この位相の変更により、第一の Pulsレーザ 101 から出力されるパルス光の位相は、参照となる発振器 203 の参照信号の位相と等しくなる。

【0083】第二の位相比較器 205 は、第二の受光素子 111 から出力されたパルス信号と、参照となる発振器 203 から出力された参照信号との位相を比較し、両者の位相差を示す第二の位相差信号を出力する。

【0084】第二の位相差信号は第二のループフィルタ 206 を通過してから発振器 104 に入力される。発振器 104 は、位相差信号に応じて、Pulsレーザ 102 に送る発振信号の位相を変更する。この位相の変更により、第二の Pulsレーザ 102 から出力されるパルス光の位相は、参照となる発振器 203 の参照信号の位相と等しくなる。

【0085】結局、Pulsレーザ 101、102 から出力されるパルス光の位相は、発振器 203 の参照信号の位相と同期し、両パルス光の位相が一致する。よって、2つの Pulsレーザ 101、102 から発生されるパルス光の尖塔が時間軸上で一致する。その結果、非線形光学媒質 109 に入射するパルス光のピークパワーが大きくなることから、より大きな非線形光学効果が期待でき、結果として、出力光のスペクトル包絡線が広がり、各チャネルの光出力レベルの差が少ない多波長光が得られる。

【0086】＜第13の実施の形態＞図15は、本発明

の第13の実施の形態にかかる光源を示す。本実施の形態では、第一の能動モード同期レーザ 301 と、第二の能動モード同期レーザ 302 は、同一の発振器 306 が発生する発振信号の周波数と同じ、またはその高調波周波数と同じ繰り返し周波数のパルス光を発生するように構成している。

【0087】発振器 306 とは、能動モード同期レーザ 301、302 や、利得スイッチレーザ、あるいは半導体レーザの直接変調においてパルス光を発生させるために必要な電気装置である。

【0088】このように2つの能動モード同期レーザ 301、302 が同一の発振器 306 を用いることにより、2つの能動モード同期レーザ 301、302 から発生されるパルス光の尖塔が時間軸上で一致する。その結果、光合波器 303 にて合波され光増幅器 304 にて増幅されてから、非線形光学媒質 305 に入射するパルス光のピークパワーが大きくなることから、より大きな非線形光学効果が期待でき、結果として、出力光のスペクトル包絡線が広がり、各チャネルの光出力レベルの差が少ない多波長光が得られる。

【0089】なお、第一の能動モード同期レーザ 301 には直流電流源 307 から直流電流が供給され、第二の能動モード同期レーザ 302 には直流電流源 308 から直流電流が供給される。このように直流電流を供給するのはレーザにバイアス電流を与えるためである。なお、他の実施の形態においても、図示はしていないが、レーザにバイアス電流を与えるために直流電流を供給している。

【0090】＜第14の実施の形態＞図16は本発明の第14の実施の形態にかかる光源を示す。図16に示すように第14の実施の形態では、素子温度制御により Pulsレーザ 401、402 の発振周波数を制御して、Pulsレーザ 401、402 から出力されるパルス光の光周波数制御をしている。具体的には、ペルチェ素子などの温度素子 403、404 を制御し、Pulsレーザ 401、402 の発振周波数を制御して出力されるパルス光を所望の周波数に設定している。

【0091】特に半導体レーザの場合、レーザ素子の温度が変わるとレーザ媒質の屈折率が変化し、発振周波数が変わる。このため、光周波数を制御でき、これにより、モード間隔、あるいは中心周波数の可変なモードを含む多波長光が実現できる。

【0092】なお、Pulsレーザ 401、402 から出力されたパルス光は、光合波器 405 にて合波され、光増幅器 406 にて増幅されてから、非線形光学媒質 407 に入力される。なお、合波される前に、Pulsレーザ 401、402 からの光を一部取り出して発振周波数を検知し、温度制御をかける負帰還系を構成するようにしてもよい。

【0093】

【発明の効果】以上説明してきたように、本発明の光発生方法及び光源によれば、等間隔な多波長光を、レーザの利得帯域に依らずにより多いチャネル数で得られる。

【0094】また、2つのパルス光発生回路（パルスレーザ）から発生されるパルス光のどちらか、あるいは双方に時間的な遅延を与える構成を具備したことにより、各チャネルの光出力レベルの差がより少ない多波長光が得られる。

【0095】また、2つのパルス光発生回路（パルスレーザ）の同期を取る機構を具備したことにより、各チャネルの光出力レベルの差がより少ない多波長光が得られる。

【0096】また、2つのパルス光発生回路（パルスレーザ）の発振周波数を制御する機構を具備したことにより、各チャネル間隔を可変にすることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態にかかる光源を示す構成図。

【図2】パルスレーザのスペクトルの状態を示す特性図。

【図3】本発明の第2の実施の形態にかかる光源を示す構成図。

【図4】本発明の第2の実施の形態の動作原理を示す説明図。

【図5】本発明の第3の実施の形態にかかる光源を示す構成図。

【図6】本発明の第4の実施の形態にかかる光源を示す構成図。

【図7】本発明の第5の実施の形態にかかる光源を示す構成図。

【図8】本発明の第6の実施の形態にかかる光源を示す構成図。

【図9】本発明の第7の実施の形態にかかる光遅延回路を示す構成図。

【図10】本発明の第8の実施の形態にかかる光遅延回路を示す構成図。

【図11】本発明の第9の実施の形態にかかる光遅延回路を示す構成図。

【図12】本発明の第10の実施の形態にかかる光遅延回路を示す構成図。

【図13】本発明の第11の実施の形態にかかる光源を示す構成図。

【図14】本発明の第12の実施の形態にかかる光源を示す構成図。

【図15】本発明の第13の実施の形態にかかる光源を示す構成図。

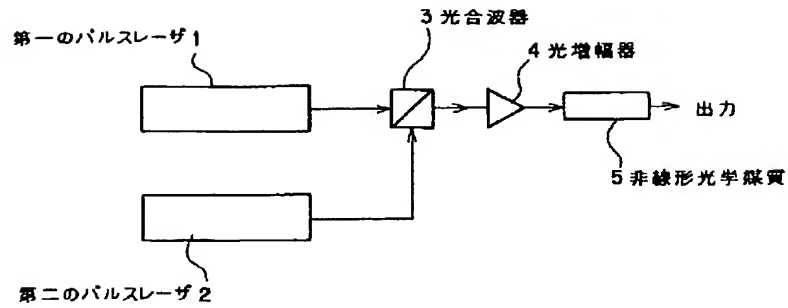
【図16】本発明の第14の実施の形態にかかる光源を示す構成図。

【図17】従来の光源を示す構成図。

【符号の説明】

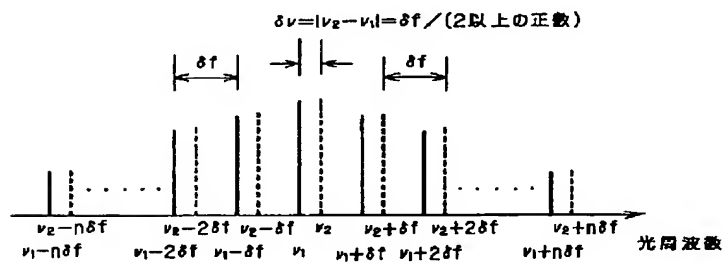
- 1, 2 パルスレーザ
- 3 光合波器
- 4 光増幅器
- 5 非線形光学媒質
- 6 光遅延回路
- 7 同期回路
- 8a, 8b 検波器
- 9a, 9b 発振周波数制御回路
- 11, 12 モード同期レーザ
- 13, 14 利得スイッチレーザ
- 20, 30, 40, 50 光遅延回路
- 101, 102 パルスレーザ
- 103, 104 発振器
- 105, 106 光分波器
- 107 光合波器
- 108 光増幅器
- 109 非線形光学媒質
- 110, 111 受光素子
- 112 位相比較器
- 113 ループフィルタ
- 201, 203 発振器
- 202, 205 位相比較器
- 204, 206 ループフィルタ
- 301, 302 能動モードレーザ
- 303 光合波器
- 304 光増幅器
- 305 非線形光学媒質
- 306 発振器
- 307, 308 直流電流源
- 401, 402 パルスレーザ
- 403, 404 温度素子
- 405 光合波器
- 406 光増幅器
- 407 非線形光学媒質

【図1】

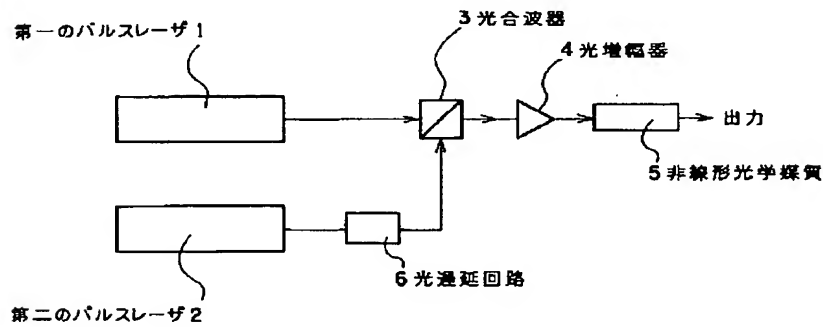


【図2】

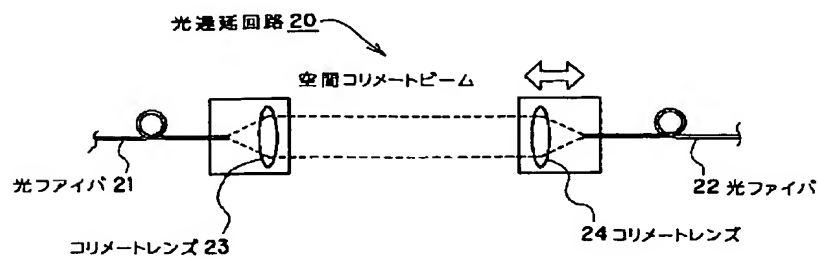
第1の実施の形態におけるバルスレーザの発振周波数



【図3】



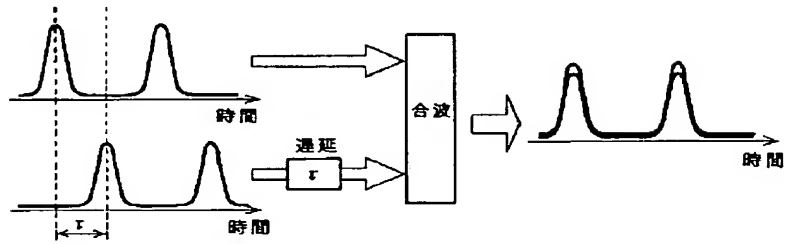
【図9】



【図4】

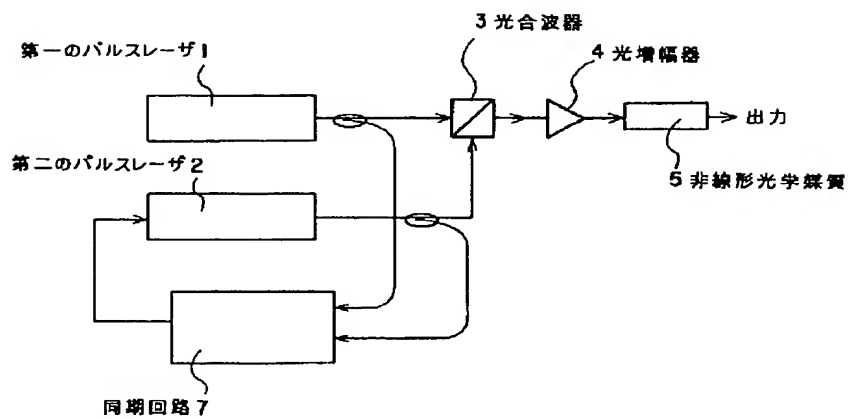
第2の実施の形態におけるパルス光の動作

第一のパルスレーザからのパルス光

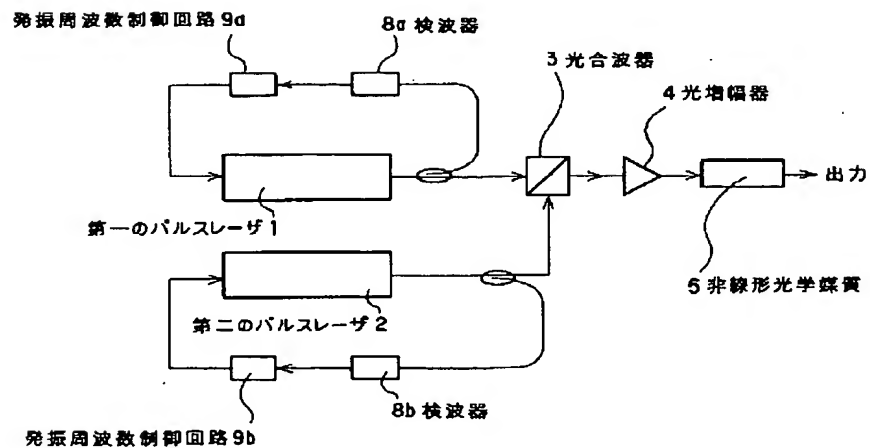


第二のパルスレーザからのパルス光

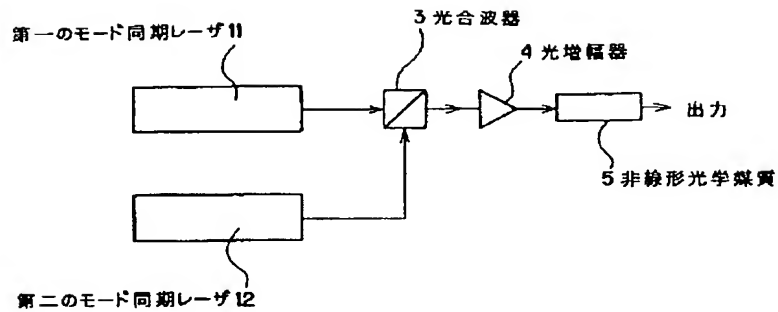
【図5】



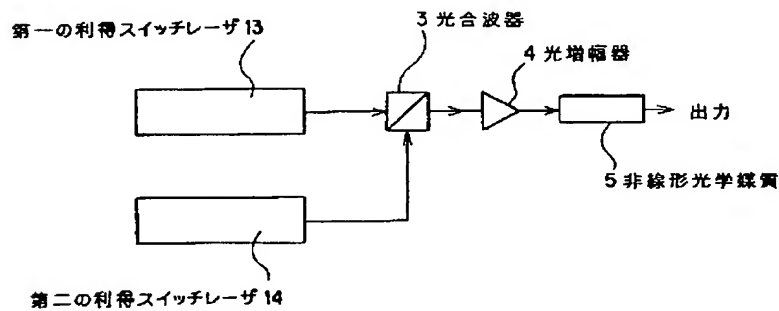
【図6】



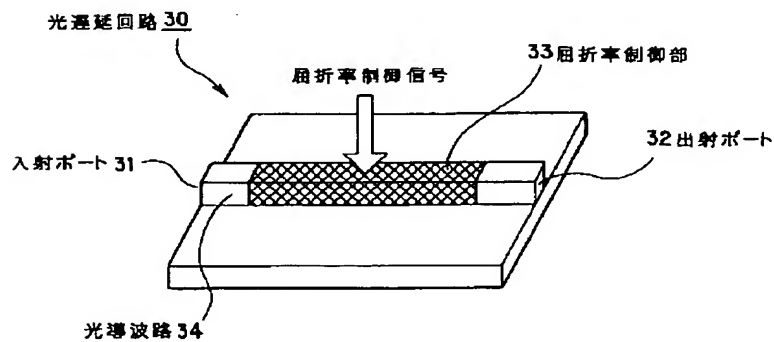
【図7】



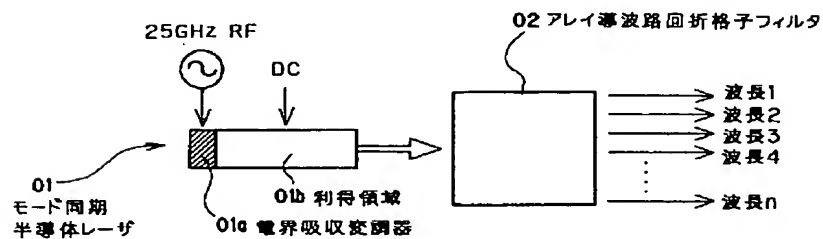
【図8】



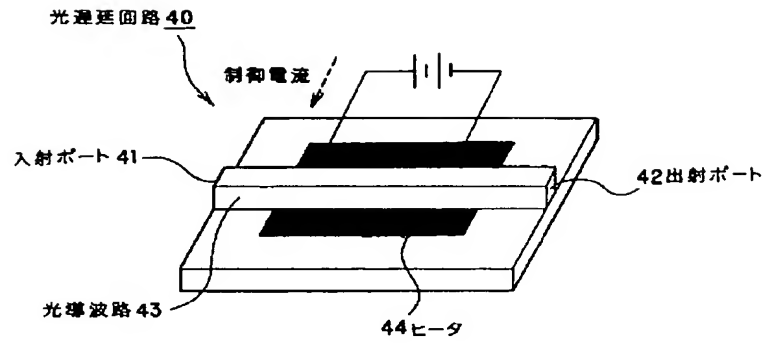
【図10】



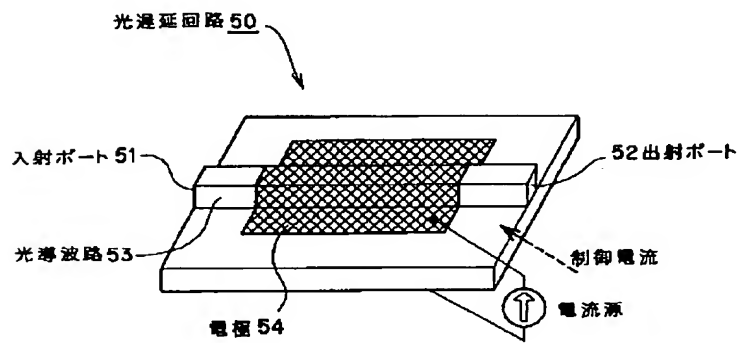
【図17】



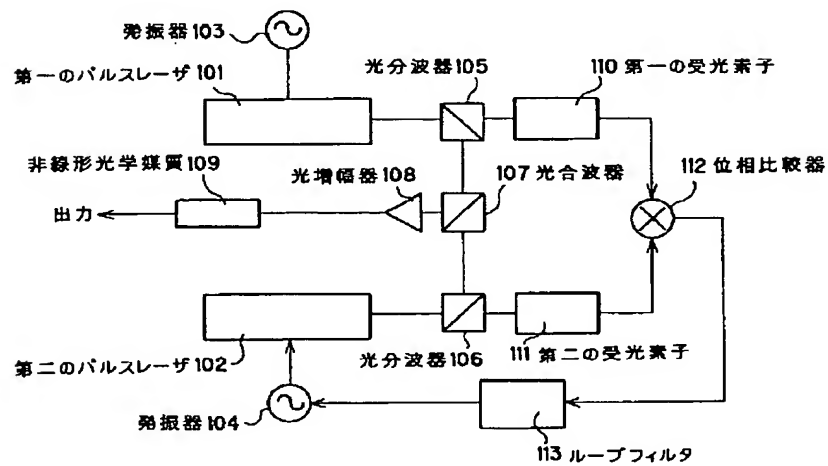
【図11】



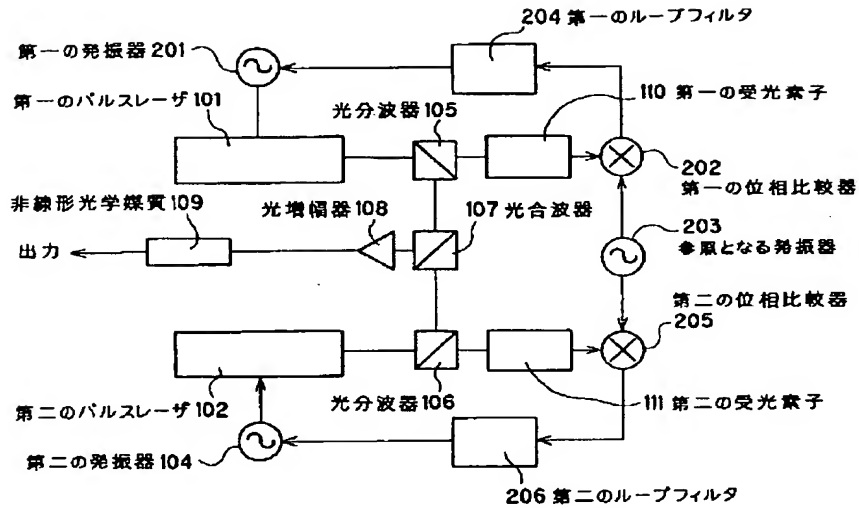
【図12】



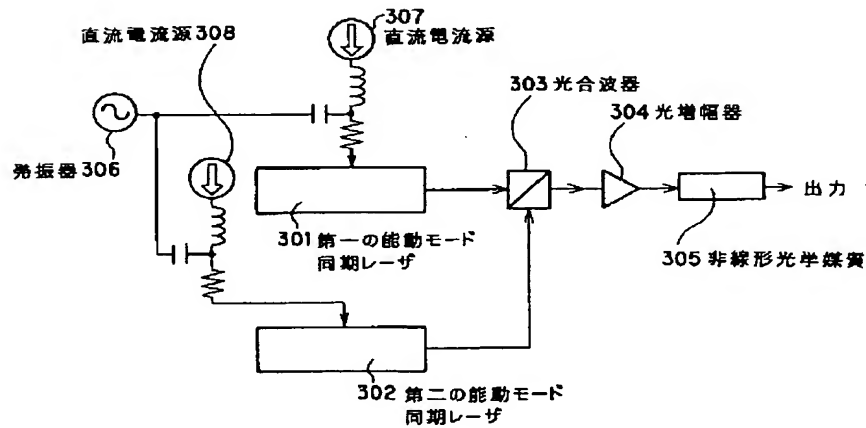
【図13】



【図14】



【図15】



【図16】

